
The alluvium of the Namulonge wetland (Uganda), its contributions to subsurface water dynamics and composition

74 Pages,

72 Figures, 13 Tables, and 22 Annexes

Master Thesis

at the

Steinmann Institut für Geologie, Mineralogie und Paläontologie
Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn

from

Laura Heiß

Supervisor: Prof. Dr. Barbara Reichert

Bonn, March 2016



Abstract

This thesis is embedded in the BMBF-funded project "GlobE – Wetlands in East Africa". With the guiding theme "Reconciling future food production with environmental protection" an interdisciplinary and international consortium assesses wetlands' contributions to food security along climatic and social gradients. Among other study sites in Tanzania, Rwanda, and Kenya, the project focuses on the valley bottom wetland of Namulonge (Uganda). Year-round water availability in combination with nutrient-rich soils gives wetlands the potential to become agricultural production hotspots concurring with their other ecosystem services. Since agricultural use is highly depending on water quantity and quality, a sound understanding of the hydrogeological setting of the wetland is required.

The Namulonge wetland is characterized by Precambrian silicate bedrocks that are overlain by a saprolitic weathering profile. This saprolite is covered by Quaternary alluvial sediments at the valley bottom. The alluvium represents a local subsystem within the regional hydrogeological system and builds the bottom of the proper wetland. This raises the question of how the alluvial sediments contribute to groundwater dynamics and quality. Therefore, the aim of this study is a comprehensive geological, hydrogeological, and hydrogeochemical characterization of these alluvial sediments.

A hydrogeological mapping, accompanied by several drilling surveys was performed based on an existing geological map. Single piezometer pumping tests as well as granulometric analyzes were used to calculate hydraulic conductivities of the aquifer system. Chemical and mineralogical compositions of representative sediment samples were determined using XRD and XRF. Hydrochemical mapping included in-situ measurements and samples of soil water and alluvial groundwater.

Based on the interpretation of drilling logs the spatial extent of alluvial sediments in the existing geological map was revised. The lateral extent of the alluvial sediments comprises the relatively flat valley bottom including lower parts of the valley slopes. Alluvial sediments within the lower catchment build layered profiles of clay, sand, and gravel. Constructed cross sections through the wetland showed that the sand and gravel layers are interconnected lenses. As hydraulic conductivities of the clay layer are very low and those of the sand and gravel layers are moderate to high, the local alluvial system was identified as a confined aquifer system. Trace element compositions of La, Th, and Sc showed that the alluvial sediments derived from the two major bedrock lithologies of the study site. Mineralogical composition mainly comprises quartz and feldspar as primary and kaolinite as secondary minerals. Several indicators showed that the degree of weathering increases with prolonged depth. Hydrochemical composition of soil water and alluvial groundwater reflected the mineralogical composition of the sediments. The high disaggregation of albite, anorthite, and microcline was indicated by high concentrations of calcium, sodium, potassium, and dissolved silica.

The complex hydrogeological setting of the alluvial sediments was successfully described and characterized. Geological sediment architecture and hydrochemical composition showed that alluvial groundwater flows from the wetlands fringe to center position. Based on hydraulic conductivities and hydrochemical composition, it is concluded that soil water is not the source of alluvial groundwater. Moreover, the clay layer acts as a barrier between agricultural activities, e.g. fertilizer input, and the water bearing layers.

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit ist Teil der Forschungsinitiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung „GlobE - Wetlands in East Africa“. Ein deutsch-afrikanisches Konsortium dieser Forschungsinitiative erarbeitet unter dem Aspekt der nachhaltigen Nutzung die Eigenschaften von Feuchtgebieten unter sozialen und klimatischen Bedingungen. Neben Untersuchungsgebieten in Tansania, Ruanda und Kenia, stellt das Feuchtgebiet in Namulonge (Uganda) eines der Hauptuntersuchungsgebiete dar. Die ganzjährige Wasserverfügbarkeit innerhalb der nährstoffreichen Böden der Feuchtgebiete führt zu potentiell ertragsreichen Anbaugebieten. Da eine ertragsreiche landwirtschaftliche Nutzung von Wasserqualität und -quantität abhängt, ist das Verständnis der hydrogeologischen Gegebenheiten notwendig.

Das Untersuchungsgebiet in Uganda wird durch einen ebenen Talboden sowie flach ansteigende Seitenhänge aufgebaut. Die vorliegenden geologischen Einheiten umfassen Präkambrisches Grundgebirge sowie Quartäre Sedimente. Verwitterungsprozesse dieses silikatischen Grundgebirges führen zur Ausbildung eines charakteristischen Verwitterungsprofils, das als Saprolit bezeichnet wird. Im Talboden wird dieser Saprolit von alluvialen Sedimenten überlagert. Das Alluvium prägt somit zu einem großen Teil die hydrogeologische Situation des Untersuchungsgebietes. Diese Situation führt zu der Frage, wie die alluvialen Sedimente die Wasserdynamik und -beschaffenheit des Feuchtgebietes beeinflussen. Resultierend aus dieser Fragestellung ergibt sich das Ziel dieser Arbeit: eine umfassende geologische, hydrogeologische und hydrogeochemische Charakterisierung des Alluviums.

Die geologische Geländeaufnahme beinhaltet unter anderem eine Bohrkampagne zur Ermittlung der räumlichen Verteilung des Alluviums. Außerdem wurden Pumpversuche in Piezometern und Siebanalysen zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeiten durchgeführt. Eine Geochemische Analyse umfasste RDA- und RFA-Messungen ausgewählter Sedimentproben. Im Zuge der hydrochemischen Geländeaufnahme wurden Vor-Ort Parameter gemessen und Bodenwasser sowie oberflächennahes Grundwasser beprobt.

Basierend auf den Ergebnissen der Bohrkampagne wurde die laterale Ausdehnung der alluvialen Sedimente bestimmt und in Folge dessen die bereits bestehende geologische Karte überarbeitet. Neben der Füllung des Talbodens mit alluvialen Sedimenten liegen diese auch auf flachen Bereichen der Seitenhänge auf. Übergeordnet bilden sie Schichten aus Ton, Silt, Sand und Kies. Die Konstruktion von Profilschnitten zeigt einen linsenförmigen Aufbau der Sand- und Kiesschichten, die sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung hydraulisch in Verbindung stehen. Die geringe hydraulische Durchlässigkeit der Tonschichten in Verbindung mit höheren Durchlässigkeiten der Sand- und Kiesschichten resultiert in einem gespannten Aquiferaufbau. Spurenelementzusammensetzungen von Th, La und Sc zeigen eine Herkunft der Sedimente von zwei unterschiedlichen Lithologien. Die mineralogische Zusammensetzung der Sedimente besteht hauptsächlich aus Quarz und Feldspat als primäre Minerale und Kaolinit als sekundäres Mineral. Zahlreiche geochemische Indikatoren zeigen eine Zunahme des Verwitterungsgrades bei zunehmender Tiefe innerhalb der Sedimente. Die Verwitterung der Feldspäte spiegelt sich in der chemischen Zusammensetzung des Wassers wieder. Sowohl Bodenwasser als auch flaches Grundwasser sind durch hohe Konzentrationen an Calcium, Natrium, Kalium und Silizium geprägt.

Der geologische Aufbau der Sedimente und die hydrochemische Zusammensetzung beweisen ein Fließen des oberflächennahen Grundwassers von den seitlichen Hängen zum Talboden. Die hydrochemische Zusammensetzung und die hydraulischen Durchlässigkeiten schließen ein Versickern des Bodenwassers in das oberflächennahe Grundwasser aus. Demnach fungiert die undurchlässige Bodenschicht als Barriere für potentiellen Schadstoffeintrag aus landwirtschaftlicher Nutzung in oberflächennahes Grundwasser.